引用格式：赵文智，任珩，杜军，等. 河西走廊绿洲生态建设和农业发展的若干思考与建议. 中国科学院院刊, 2023, 38(3): 424-434, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045. 20220406001.

Zhao W Z, Ren H, Du J, et al. Thoughts and suggestions on oasis ecological construction and agricultural development in Hexi Corridor. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2023, 38(3): 424-434, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20220406001. (in Chinese)

河西走廊绿洲生态建设和农业发展的若干思考与建议

赵文智　任 珩*　杜 军　杨 荣　杨淇越　刘 鹄

中国科学院西北生态环境资源研究院 中国生态系统研究网络临泽内流河流域研究站 兰州 730000

摘要　绿洲化是干旱区绿洲时空演变的外在表现，区域水资源承载力是制约绿洲农业与干旱区生态保护的关键。河西走廊既是我国东联西出的重要通道，也是区域发展的重要载体；既是我国西北重要的生态屏障，又是西北地区典型灌溉农业区。经过70多年的建设，河西走廊在社会进步、交通条件、生态建设和农业发展等方面取得了非常显著的成就，但水资源越来越成为制约区域可持续发展的因子。文章在分析河西走廊绿洲生态建设和农业发展存在问题的基础上，提出应以水量确定绿洲规模，并将20%—30%的水资源作为生态用水。建议在目前的水资源供给条件下，合理配置水土资源，提升绿洲质量、控制绿洲规模；适当建立低耗水的荒漠河岸植被带和环沙漠边缘的雨养防沙体系；加强荒漠植被原真性和完整性保护，尽量减少对荒漠植被的干扰，以保护河西走廊生态屏障的安全稳定和绿洲农业可持续发展。

关键词　绿洲，水资源，生态建设，农业发展，耕地面积，河西走廊

DOI　10.16418/j.issn.1000-3045.20220406001

绿洲是干旱区的重要国土空间，是干旱区农业发展的核心地带。绿洲化是干旱区的重要地理过程之一，是干旱区农业开发与水资源利用的重要区域[1,2]。在干旱区由于水资源的限制，总体上天然绿洲与人工绿洲存在相互消长的关系——在有限水资源条件下，人工绿洲规模的扩张必然导致天然绿洲用水量的缺失[3,4]。失去天然绿洲的防护，人工绿洲稳定性与可持续发展能力也会受到影响。因此，在干旱区区域尺度上，以流域为单元，以水资源为约束条件，考虑气候变化及绿洲稳定性、承载力、抗御干扰的能力，确定天然绿洲和人工绿洲比例，界定绿洲农业适度规模，成为绿洲乃至干旱区可持续发展亟待解决的迫切问

*通信作者
资助项目：中国科学院战略性先导科技专项（A类）（XDA23060304），中国科学院学部咨询评议项目（2019-ZW09-A-032）
修改稿收到日期：2022年12月29日；预出版日期：2023年2月20日

题。

河西走廊既是我国东联西出的重要通道，也是区域发展的重要载体[5]；既是我国西北重要的生态屏障，又是西北地区典型灌溉农业区。经过70多年的建设，河西走廊在社会进步、交通条件、生态建设和农业发展等方面取得了非常显著的成就，但水资源越来越成为制约区域可持续发展的因子。1990年之前河西走廊绿洲维持相对稳定的状态，1990—2000年开始迅速扩张，2010年以来增幅仍很明显[6,7]。河西走廊绿洲土地面积急速扩张加大了区域水土资源的匹配错位，农业生产用水严重挤占了生态用水比例，增加了在气候变化背景下生态环境的不确定性，对区域经济社会的可持续发展构成潜在威胁[8]。干旱区水土资源开发利用始终是区域经济发展和生态建设之间博弈的关键，实现生态建设与农业可持续发展平衡，是诸如河西走廊等水资源非常有限区域亟待解决的重大战略问题[9-12]。因此，以河西走廊为例，在分析水土资源开发利用现状的基础上，深入分析生态环境变化和农业发展的相互关系，提出平衡一个区域有限水资源供给下的生态建设与农业可持续发展的思路、原则和方法，为干旱地区生态文明建设和经济社会可持续发展提供参考。

1 河西走廊绿洲发展与利用现状

1.1 河西走廊概况

河西走廊位于我国西北内陆干旱区，东起古浪峡口，西至甘新交界处，长1 000余公里，拥有石羊河、黑河和疏勒河等三大内陆河流域，跨越青海、甘肃和内蒙古3个省份，总面积达27.6×10⁴ km²[13]。河西走廊景观镶嵌生态类型多样、地形地貌包括南部的祁连山褶皱和阿尔金山断块、北部的阿拉善台块和北山（马鬃山）断块带、中部的坳陷等3个地理单元[14]。其中，祁连山年降水量为200—800 mm，是河西走廊地区内陆河的发源地，祁连山北麓每年平均向走廊平原区输送70.1×10⁸ m³ 地表水资源；走廊北山是龙首山、合黎山与马鬃山的统称，系长期剥蚀的中低山和残山，海拔低于2 500 m，大部分地区年降水不足150 mm，不易形成地表径流；南北两山之间海拔1 000—2 600 m的走廊是绿洲主要分布区（图1）。区内大黄山和黑山把走廊平原分成石羊河、黑河和疏勒河3个相互独立的流域。

1.2 河西走廊水土资源状况

河西走廊平原区年降水量低于150 mm，区域降水对水资源的贡献很小。地表水主要来源发源于祁连山脉的石羊河、黑河和疏勒河。近20年来各流域出山径流量呈现增加趋势（图2）。根据《甘肃省水资源公报》和《甘肃省第三次水资源调查》成果，石羊河、黑河和疏勒河流域近20年平均水资源量分别为16.53×10⁸ m³、25.17×10⁸ m³ 和24.13×10⁸ m³，全域平均地表水和地下水资源共66.28×10⁸ m³。2019年，区域内人均水资源量约为1 270 m³，显著低于人均1 700 m³的国际警戒线和2 100 m³的全国平均水平。

通过对6期遥感数据的解译发现，河西走廊绿洲面积由1975年的1.48×10⁴ km² 增加到2019年的2.14×10⁴ km²，呈现扩张趋势。其中，1990年前相对稳定，1990—2000年迅速扩张，2010年以来增幅显著（图3）。从土地利用类型来看，耕地是河西走廊绿洲规模扩张的主要贡献者，从1975年的0.99×10⁴ km² 增加到2019年的1.46×10⁴ km²，增加47.4%，贡献绿洲面积扩张的70.7%；其次为草地和建设用地，分别贡献18.6%和6.7%。

1.3 河西走廊绿洲水资源利用状况

近20年河西走廊水资源利用特征是，生产用水总量和平均用水量下降，但地下水用量仍较大。2019年，石羊河、黑河、疏勒河流域总用水量分别为21.55×10⁸ m³、34.6×10⁸ m³、12.8×10⁸ m³，较1999年减少了18.57%、0.23%、15.85%。石羊河、黑河、疏勒河等流域水资源利用效率也得到提升，每公顷农

图 1 河西走廊疏勒河、黑河、石羊河流域分布图

Figure 1 Watershed distribution map of Shule River, Heihe River and Shiyang River basin in Hexi Corridor

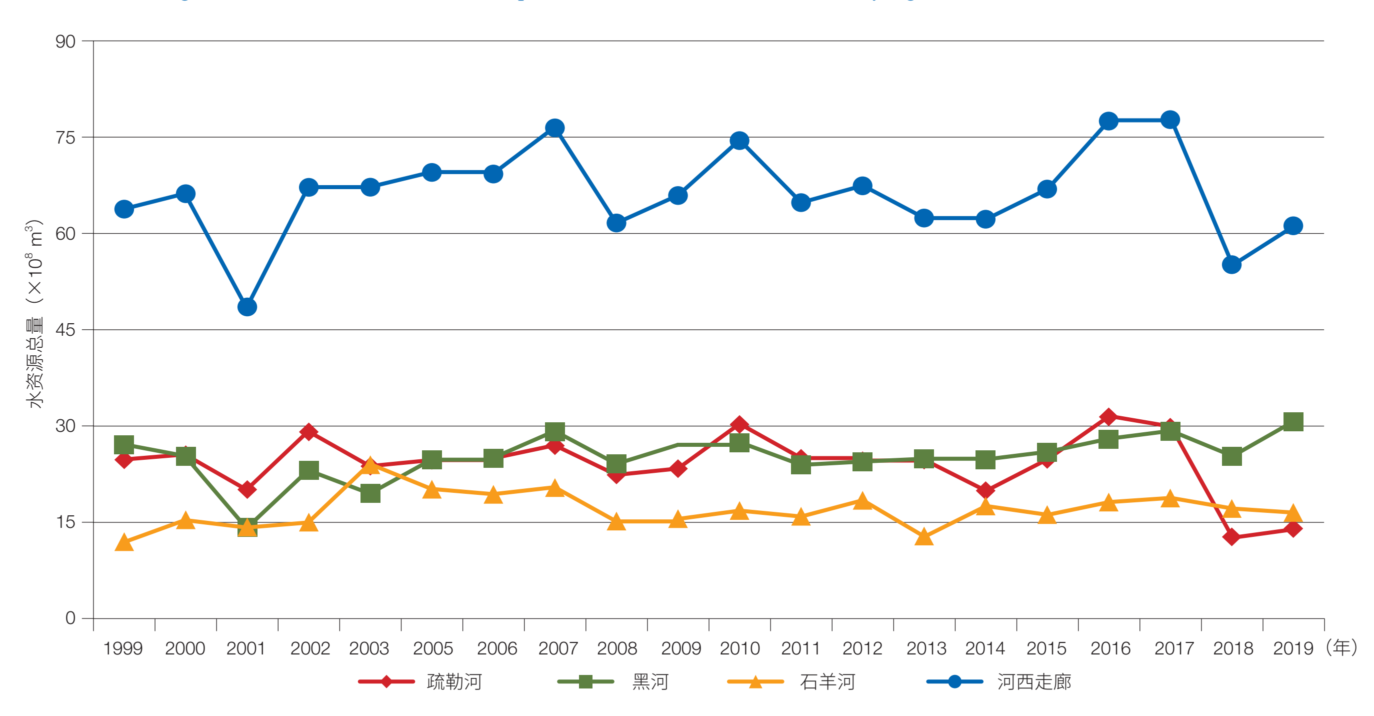


图 2 1999—2019 年河西走廊三大内陆河流域水资源总量变化规律

Figure 2 Change law of total water resources in the three inland river basins of Hexi Corridor from 1999 to 2019

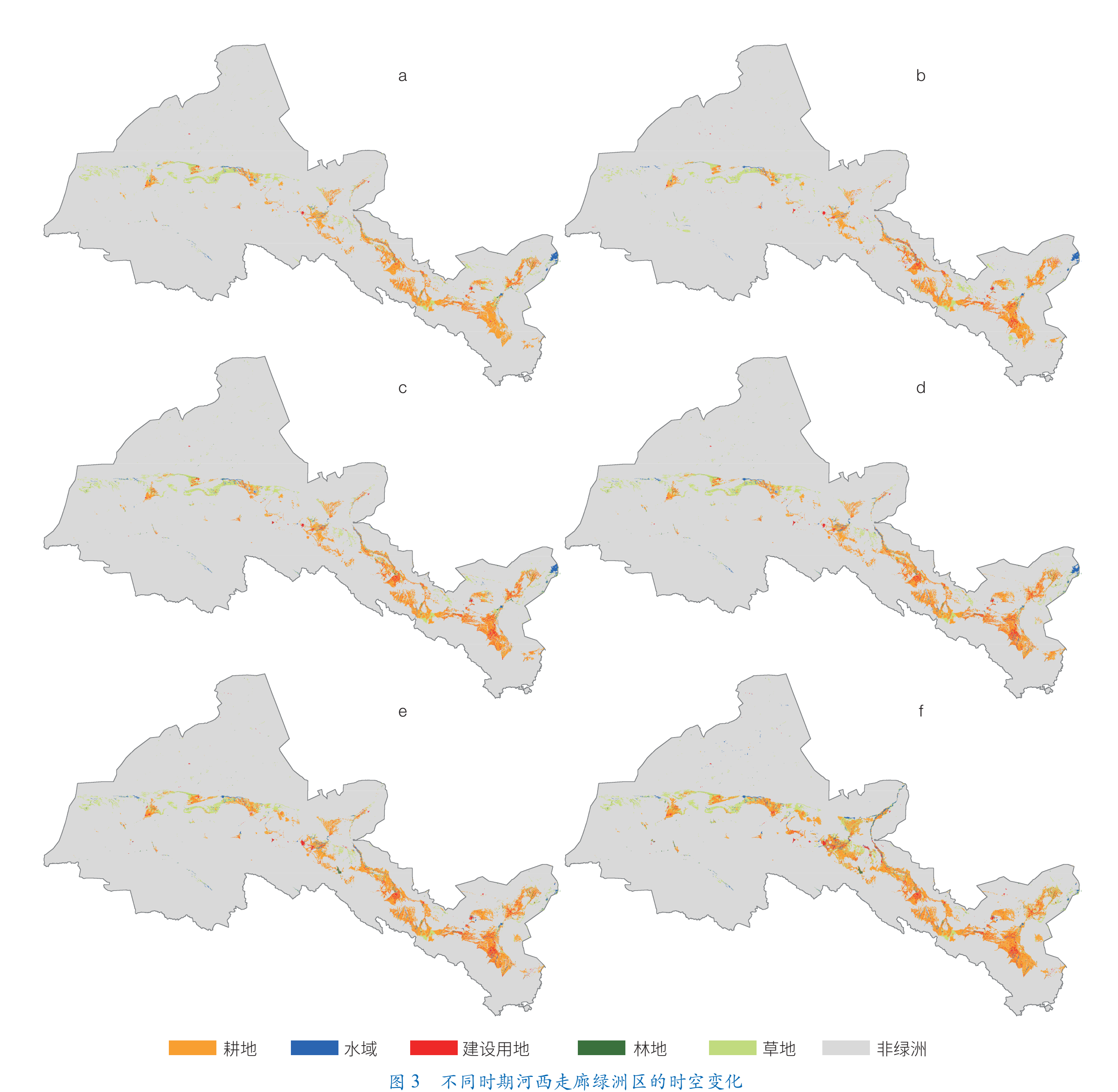


图 3　不同时期河西走廊绿洲区的时空变化

Figure 3　Temporal and spatial changes of oasis area of Hexi Corridor in different periods

（a）1972—1975 年；（b）1979—1981 年；（c）1989—1991 年；（d）1999—2000 年；（e）2010 年；（f）2017 年

(a) 1972–1975; (b) 1979–1981; (c) 1989–1991; (d) 1999–2000; (e) 2010; (f) 2017

田灌溉用水量分别从 1999 年的 10 725 m^3、9 435 m^3、15 180 m^3，下降至 2019 年的 7 440 m^3、6 435 m^3、8 880 m^3。但是，石羊河地下水开采量由 1999 年的 12.71×10^8 m^3 下降到 2019 年的 7.05×10^8 m^3，疏勒河流域由 1999 年的 3.36×10^8 m^3 下降到 3.14×10^8 m^3，下降幅度分别为 44.52%、6.56%；黑河流域地下水使用量出现增长趋势，由 1999 年的 5.45×10^8 m^3 提高至 2019 年的 9.67×10^8 m^3，增加幅度为 77.49%（图 4）。总体上，受政策性干预与行业配置约束，河西走廊绿洲水资源短缺状况有所缓解，但在长期累积缺水问题和绿

洲面积扩大共同驱动下，仍需开采地下水资源弥补地表来水的不足，结构性缺水仍是制约区域发展的主要因素[12]。

2 河西走廊绿洲可持续发展存在的问题

2.1 绿洲规模扩张超过了水资源的承载力

绿洲规模扩张是干旱区的主要问题，绿洲扩张较快地区既是干旱区人类活动最为频繁、人地关系最为敏感的区域，也是水资源与水环境问题最为突出的区域，已对区域农业发展和生态建设的可持续性形成挑战与威胁[15]。河西走廊绿洲规模扩张主要是耕地面积增加所致，耕地面积从1975年的0.99×10^4 km^{2}增加到2019年的1.46×10^4 km^2，增加了47.4%，贡献了绿洲面积变化的70.7%；其中，石羊河流域表现得尤为明显，较高的人口密度加之人口数量的持续增加，导致流域内耕地快速增长[16-18]。如果按照多年平均水资源总量为69.9×10^8 m^3，多年平均农业用水占比83.34%，单位面积农田用水定额6 000—6 750 m^3/hm^{2}匡算，则整个河西走廊灌溉农田面积应为0.82×10^4—0.92×10^4 km^2，水资源承载耕地面积超出0.54×10^4—0.64×10^4 km^2（表1）。因此，水资源总量有限情况下，绿洲规模扩张增加了区域农业生产用水和生活用水，加剧区域水资源压力的同时挤压了生态用水，阻碍河西走廊绿洲社会经济和生态的可持续发展[19]。

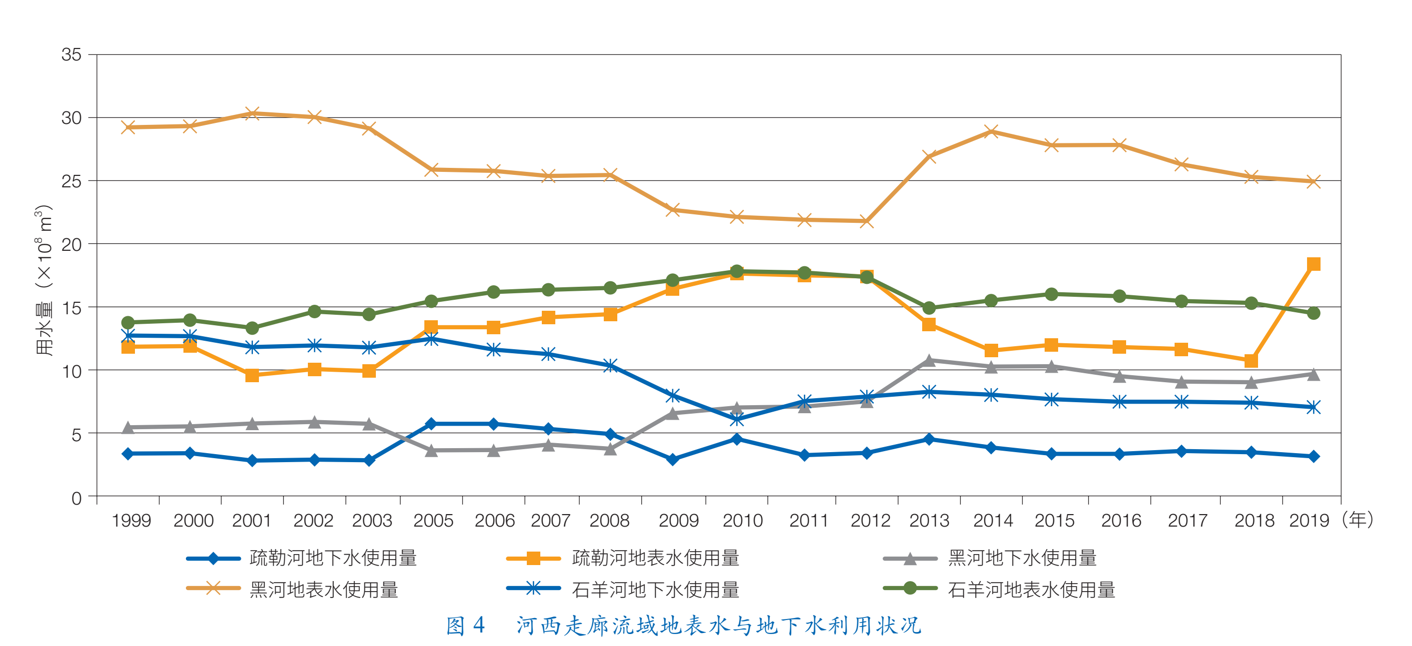


图4　河西走廊流域地表水与地下水利用状况

Figure 4　Utilization of surface water and groundwater in Hexi Corridor Basin

表1　河西走廊绿洲理论维持耕地规模

Table 1　Scale of oasis cultivated land in Hexi Corridor by theoretical maintenance

流域	多年平均水资源总量（×10^8 m^3）	多年平均农业用水占比（%）	农业用水量（×10^8 m^3）	理论维持灌溉面积（×10^4 km^2）
石羊河	16.98	84.23	14.30	0.21—0.24
黑河	25.17	84.41	21.25	0.31—0.35
疏勒河	24.13	81.52	19.67	0.29—0.33
河西走廊	66.28	83.34	55.24	0.82—0.92

注：多年平均水资源总量和多年平均农业用水占比以1999—2019年数据为依据；单位面积农田用水定额以6 000—6 750 m^3/hm^{2}计算

Note: The multi-year average total water resources and the multi-year average proportion of agricultural water are based on the data from 1999 to 2019; farmland water quota per unit area calculated at 6 000–6 750 m^3/hm^2

2.2 氮肥过量施用增加绿洲地下水污染风险

河西走廊传统绿洲农业具有单季农作物高产、化肥施用量和灌溉量较高的特点，尽管正在着力改变传统的“高产高水肥”的方式，但氮肥的过量施用导致浅层地下水硝酸盐含量增加的问题依然存在。据统计，河西走廊绿洲单季作物氮肥施用量超过 450 kg/hm^2，甚至于部分区域为提高制种玉米收益达到 600 kg/hm^2[20]。绿洲土壤入渗率相对较高，导致氮肥容易随水分下渗；研究表明，在老绿洲土壤质量较好的区域氮肥损失率约为 40%，在沙质土壤区域氮肥损失率可达 61%，这加剧了河西走廊绿洲地下水氮污染风险[21]。2015 年张掖盆地浅层地下水硝酸盐浓度的平均值为 49.46 mg/L，为 2004 年的 2.33 倍；硝酸盐浓度最大值达 283.32 mg/L，为 2004 年最大值的 1.88 倍[22]，超过了 GB/T 14848—2017《地下水质量标准》中Ⅲ类水（适用于集中式生活饮用水水源及工农业用水）限量值（20 mg/L）。2008 年区域地下水硝态氮浓度超标率为 32%，2018 年已增加至 40%，相较超出 8%[21]。因此，“过量氮肥投入维持农业高产”的农田水肥生产方式，造成了河西走廊部分地区硝态氮淋失和地下水硝态氮超标，增加了区域地下水硝态氮的污染风险。

2.3 目前防护林体系不能满足变化环境下的绿洲农业生产

河西走廊防护林是干旱区农田生态系统的重要屏障，在改善区域小气候、减轻和防御各种农业灾害、保证农业生产持续稳定等方面发挥着重要作用[23]。随着干旱区生态建设工作不断深化、区域种植业结构调整和农业生产经营模式转变，农田防护林的功能和作用发生了一定变化[24]。目前的防护林体系已不能很好满足新形势下干旱区经济、社会和生态发展需求。特别是随着河西走廊部分绿洲作物结构从以小麦为主调整为以玉米为主，对小麦生产影响严重的干热风已不是农业生产的重要气象灾害问题；现有 50 m 左右宽度的防护林网设置导致林带附近玉米减产，不利于机械化操作和区域农业现代化发展等缺点显现。主要体现在：① 由于林木树种单一、稳定性不高，导致防护林体系逐渐退化；② 现有林网规格偏小，胁迫作物生长并制约区域农业现代化发展；③ 干旱区地下水位下降及农业节水技术普及，使防护林水分补给受到限制；④ 绿洲面积不断扩张，原有防护林体系需进一步延展。因此，在河西走廊绿洲快速扩张背景下，原有的防护林体系建设和水资源配置需要进一步优化，以适应新的绿洲格局，保护区域的生态安全和绿洲稳定。

2.4 长期地下水采补不平衡威胁区域生态安全

自从河西走廊内流河流域综合治理工程实施以来，地下水的开采量明显下降，但仍然不能恢复采补平衡。1999—2019 年，河西走廊绿洲降水量和出山径流量明显增加，地下水超采现象得到一定遏制，但地下水位累积深度相对较低，超采面积较大，地下水超采和采补不平衡问题依然比较严重。数据显示，河西走廊绿洲降水量和年径流量处于增长趋势，武威、金昌、张掖、酒泉和嘉峪关等河西走廊 5 市降水量从 1999 年的 64.15×10^8 m^3、11.15×10^8 m^3、95.25×10^8 m^3、160.69×10^8 m^3、1.14×10^8 m^3 增长至 2019 年 87.88×10^8 m^3、19.24×10^8 m^3、134.89×10^8 m^3、254.41×10^8 m^3、2.63×10^8 m^3；昌马河（昌马堡站）、黑河（莺落峡站）、杂木河（杂木寺）年径流量从 1999 年的 12.85×10^8 m^3、16.22×10^8 m^3、1.678×10^8 m^3 增长至 2019 年 16.91×10^8 m^3、20.64×10^8 m^3、2.91×10^8 m^3。但从河西走廊用水量来看，2019 年，武威、金昌、张掖、酒泉和嘉峪关等河西走廊 5 市用水总量分别为 15.00×10^8 m^3、6.51×10^8 m^3、20.65×10^8 m^3、24.78×10^8 m^3 和 2.33×10^8 m^3，总量达到 69.27×10^8 m^3。其中，地表水供给量分别为 10.26×10^8 m^3、4.17×10^8 m^3、15.6×10^8 m^3、18.15×10^8 m^3 和 1.2×10^8 m^3，总量为 49.38×10^8 m^3；地下水供给量分别为 4.74×10^8 m^3、2.34×10^8 m^3、

5.05×10^8 m^3、6.64×10^8 m^3 和 1.13×10^8 m^3，地下水供给总量为 19.89×10^8 m^3。地下水持续开采和补充不及时导致地下水采补不平衡。2019 年，河西走廊地下水开发利用程度较高且超采严重的区域主要分布在酒泉、张掖、武威 3 市，超采区面积 1.33×10^4 km^2，占甘肃省超采区面积的 81%；金昌昌宁盆地超采区水位下降，降幅为 1.94 m，武威市民勤县、古浪县大靖盆地超采区降幅为 1.16—1.19 m，酒泉超采区降幅为 1.17—2.33 m。地表水资源能满足地区生产生活需求，以及地下水采补不平衡依然是河西走廊地区水资源利用面临的主要问题[25]。长此以往，区域地下水漏斗将持续形成，不仅影响着依赖浅层地下水的天然植被的稳定，而且对区域的生态安全构成威胁。

3 河西走廊绿洲发展建议

（1）河西走廊绿洲水土资源匹配的原则与策略。① 水土资源平衡原则。以水定绿洲规模，将区域地下水变化作为评估绿洲可持续性的参考指标。以近 20 年流域平均水资源量、最大水资源量、最小水资源量为基础，以 40%、60%、70%、80% 水资源开发利用率为情景，将干旱区内流河流域多年平均水资源作为约束条件，在水资源利用率不超过 70% 的情景下，确定流域尺度上人工绿洲的规模和农业发展，并将区域地下水位的动态稳定作为判别干旱区流域尺度绿洲可持续的参考指标。② 生态和生产用水的界定原则。针对内陆河流水土资源匹配特征、地下水变化规律、社会经济状况和生物气候条件，基于“山水林田湖草沙”生命共同体理念，开展维持山、水、林、田、湖、草、沙等不同要素生态服务功能提升的生态和生产用水的界定核算，并确定保障绿洲生态系统稳定和可持续发展的生态和生产用水量。③ 绿洲建设与生态保护原则。绿洲建设以生态用水为约束条件，确定绿洲人工补充灌溉植被的规模，以及利用局地降水再分配特征确定雨养天然植被的抚育和补植强度。根据以上原则，70% 水资源开发利用率情景下，河西走廊绿洲规模应保持在 1.50×10^4 km^2，有效灌溉耕地上限为 0.64×10^4 km^2。

（2）依据绿洲区位特点，合理配置水土资源，既要提升新垦绿洲农田的地力，更要保护老绿洲耕地。将绿洲由内向外划分为核心、边缘和防护 3 个功能区，构建“高值农业+循环农业+生态农业”的绿洲农业系统。核心区应以种植高效、高产值经济作物的“高值农业”为主体；新垦绿洲农田以推行“粮-饲”种植结构，结合一定规模养殖业的“循环农业”为主体。同时，减少老绿洲的非耕地化，将建设用地和其他空间上可替代的用地安排在绿洲边缘新垦区；将节水高效且对土地生产力要求不高的设施农业布局在绿洲边缘。

（3）明晰流域水系功能定位，结合流域尺度生态环境和社会服务功能需求，合理分配上、中、下游用水模式和总量，将绿洲水资源的 20%—30% 作为生态用水。参考河西走廊石羊河、黑河和疏勒河等流域历史自然属性，根据自然保护区、生物栖息、农业生产、工业生产、生态环境维护等重点功能区划分，考虑不同流域阶段的空间关系、周边开发强度和用地功能，分析流域内水系的社会服务功能需求，各流域上游地区以保持水源涵养能力为主，水资源利用量不超过 10%；中游地区以实现区域社会经济服务功能为主，维持生态系统稳定为辅，水资源利用量控制在 30%—40%；下游地区以保障生态系统稳定和区域生态安全为主，生产生活用水为辅，水资源利用量控制在 20%—30%；剩余 20%—40% 的水资源量作为机动用水量。绿洲尺度上生态用水应该保证在 20%—30%，用水区域重点布局在流域中下游地区。在绿洲生态用水总量约束下，优化绿洲系统林田湖草沙体系用水分配，将河西走廊每公顷绿洲用水量维持在 6 000—9 000 m^3，以此确定绿洲防护体系的规模、结构和空间配置，实现有限水资源条件绿洲稳定和农业可持续的目标。

（4）加强荒漠植被原真性保护，尽量减少对荒漠植被的干扰，适当建立低耗水的荒漠河岸植被带和环沙漠边缘的雨养防沙体系，尽量在不改变局地水循环情况下开展干旱区生态建设。以加强荒漠植被原真性保护，减少对荒漠植被干扰为主要手段；不过分强调人工植被建设规模，综合考虑国防、经济、生态建设等重大战略需求，科学合理确定干旱区人工植被建设的区域、范围和规模。绿洲外围荒漠区以耐旱的“雨养植被”为主，减少选用速生的柳树、杨树、松树等高耗水树种。远离绿洲的荒漠区以保护天然荒漠植被为主，减少人工干预。在环巴丹吉林沙漠边缘，考虑重点生态功能保护、荒漠植被保护与恢复、人工绿洲生态建设、线状交通基础设施和片状工矿综合治理、新能源基地建设生态保护等，在保护原有荒漠植被的基础上，建设以乡土植物为主、就地取材设置沙障保护的雨养人工固沙植被，完善天然植被和人工植被相结合的环巴丹吉林沙漠边缘防沙体系。

（5）加强河西走廊生态建设和农业发展的长期监测和定期评估，提出基于长期监测数据的适应性管理对策，不断提升干旱区绿洲可持续发展的能力。在干旱区生态建设合理性论证的基础上，对其可行性和预期效益进行深入分析预估后制定长期规划，并对规划实施的效果进行长期监测和短期后评估，根据监测数据和后评估取得的认识制定管理对策，实行适应性管理。同时，建立科学的生态建设综合评估体系，评估建设效果（短期）、管护成效（中期）和生态效益（长期）。不断深化对生态建设是否符合科学规律、管护是否合理、生态系统健康稳定状态如何等认识，创新景观优化理论，集成生态服务提升技术与模式，提出维持区域生态系统稳定的适应性管理策略，提高干旱区生态建设和生态系统管理水平。

参考文献

1 Chu P C, Lu S H, Chen Y C. A numerical modeling study on desert oasis self-supporting mechanisms. Journal of Hydrology, 2005, 312(1-4): 256-276.

2 赵文智, 杨荣, 刘冰, 等. 中国绿洲化及其研究进展. 中国沙漠, 2016, 36(1): 1-5.
Zhao W Z, Yang R, Liu B, et al. Oasification of northwestern China: A review. Journal of Desert Research, 2016, 36(1): 1-5. (in Chinese)

3 Beroya-Eitner M A. Ecological vulnerability indicators. Ecological Indicators, 2016, 60: 329-334.

4 黄晓荣, 姜健俊, 裴源生, 等. 基于生态保护的宁夏天然绿洲生态需水研究. 水科学进展, 2006, 17(3): 312-316.
Huang X R, Jiang J J, Pei Y S, et al. Ecological water demand of Ningxia oasis based on ecological conservancy. Advances in Water Science, 2006, 17(3): 312-316. (in Chinese)

5 谢强, 方创琳. 河西走廊生态重建与经济可持续发展情势分析. 干旱区地理, 2001, 24(1): 74-79.
Xie Q, Fang C L. Analysis of the state of affairs on the regional ecological reconstruction and economic and social sustainable development in Hexi Corridor. Arid Land Geography, 2001, 24(1): 74-79. (in Chinese)

6 张建永, 李扬, 赵文智, 等. 河西走廊生态格局演变跟踪分析. 水资源保护, 2015, 31(3): 5-10.
Zhang J Y, Li Y, Zhao W Z, et al. Tracking analysis on changes of ecological patterns in Hexi Corridor region. Water Resources Protection, 2015, 31(3): 5-10. (in Chinese)

7 孙钦珂, 周亮, 唐相龙, 等. 干旱区绿洲城镇扩张对耕地空间影响及预测——以河西走廊区域为例. 自然资源学报, 2021, 36(4): 1008-1020.
Sun Q K, Zhou L, Tang X L, et al. Spatial influence and prediction of oasis urban expansion on cultivated land in arid areas: A case study of the Hexi Corridor. Journal of Natural Resources, 2021, 36(4): 1008-1020. (in Chinese)

8 王永静, 闫周府. 新疆玛纳斯河流域用水结构演变及其驱动力分析. 干旱区研究, 2017, 34(2): 243-250.
Wang Y J, Yan Z F. Evolution and driving forces of water consumption structure in the manas river basin in Xinjiang. Arid Zone Research, 2017, 34(2): 243-250. (in Chinese)

9 Chen Y N, Li B F, Li Z, et al. Water resource formation and conversion and water security in arid region of Northwest

China. Journal of Geographical Sciences, 2016, 26(7): 939-952.

10 邓铭江. 中国西北“水三线”空间格局与水资源配置方略. 地理学报, 2018, 73(7): 1189-1203.

Deng M J. “Three Water Lines” strategy: Its spatial patterns and effects on water resources allocation in northwest China. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(7): 1189-1203. (in Chinese)

11 赵文智, 白雪莲, 刘婵. 巴丹吉林沙漠南缘的植物固沙问题. 中国沙漠, 2022, 42(1): 5-11.

Zhao W Z，Bai X L，Liu C. Research on vegetation sand control around the south edge of Badain Jaran Sand Sea, China. Journal of Desert Research, 2022, 42(1): 5-11. (in Chinese)

12 王伟军, 赵雪雁, 张明军, 等. 西北干旱区内陆河流域公众的水资源感知及节水意向——以甘肃省河西走廊地区为例. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(11): 148-157.

Wang W J, Zhao X Y, Zhang M J, et al. Public perception of water resources and water-saving intention in arid inland river basins of northwestern China: A case study of the Hexi Corridor in Gansu Province. China Population, Resources and Environment, 2019, 29(11): 148-157. (in Chinese)

13 蒙吉军, 李正国. 河西走廊景观类型变化的社会经济驱动力研究. 中国沙漠, 2004, 24(1): 56-62.

Meng J J, Li Z G. Socio-economic driving forces of landscape change in Hexi Corridor. Journal of Desert Research, 2004, 24(1): 56-62. (in Chinese)

14 李福兴, 杜虎林, 肖洪浪, 等. 河西走廊的生态环境战略和建设. 中国沙漠, 1996, 16(4): 4-10.

Li F X, Du H L, Xiao H L, et al. Ecological environment strategy and construction of Hexi Corridor. Journal of Desert Research, 1996, 16(4): 4-10. (in Chinese)

15 Tang D H, Zou X Q, Liu X J, et al. Integrated ecosystem health assessment based on eco-exergy theory: A case study of the Jiangsu coastal area. Ecological Indicators, 2015, 48: 107-119.

16 李森, 王涛, 张志山, 等. 生态输水后民勤盆地绿洲适宜规模及结构变化. 中国沙漠, 2020, 40(6): 91-97.

Li S, Wang T, Zhang Z S, et al. The suitable scale and structural change of oasis in Minqin Basin after ecological water conveyance project construction. Journal of Desert Research, 2020, 40(6): 91-97. (in Chinese)

17 徐晓宇, 郭萍, 张帆, 等. 政策驱动下石羊河流域生态效应变化分析. 水土保持学报, 2020, 34(6): 185-191.

Xu X Y, Guo P, Zhang F, et al. Analysis for changing ecological effects under policy-driven in Shiyang River Basin. Journal of Soil and Water Conservation, 2020, 34(6): 185-191. (in Chinese)

18 冯博, 聂振龙, 王金哲, 等. 石羊河流域绿洲长时间系列遥感动态监测. 地理空间信息, 2020, 18(12): 10-13.

Feng B, Nie Z L. Wang J Z, et al. Long-time series remote sensing dynamic monitoring of the oasis in Shiyang River Basin. Geospatial Information, 2020, 18(12): 10-13. (in Chinese)

19 唐霞, 李森. 历史时期河西走廊绿洲演变研究的进展. 干旱区资源与环境, 2021, 35(7): 48-55.

Tang X, Li S. An analysis on the oasis evolution of Hexi Corridor in historical period. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2021, 35(7): 48-55. (in Chinese)

20 赵建华, 孙建好, 陈亮之, 等. 河西走廊灌溉玉米施肥现状评价与减肥对策. 玉米科学, 2021, 29(4): 169-174.

Zhao J H, Sun J H, Chen L Z, et al. Evaluation of fertilizer application and fertilizer reduction for maize production in Hexi Corridor. Journal of Maize Sciences, 2021, 29(4): 169-174. (in Chinese)

21 杨荣, 苏永中. 黑河中游绿洲农区地下水硝态氮污染调查研究. 冰川冻土, 2008, 30(6): 983-990.

Yang R, Su Y Z. Groundwater nitrate pollution in the oasis agricultural areas in the middle reaches of Heihe River, Northwest China. Journal of Glaciology and Geocryology, 2008, 30(6): 983-990. (in Chinese)

22 盛丹睿, 温小虎, 冯起, 等. 张掖盆地地下水硝酸盐污染与人体健康风险评价. 中国沙漠, 2019, 39(5): 37-44.

Sheng D R, Wen X H, Feng Q, et al. Groundwater nitrate pollution and human health risk assessment in the Zhangye Basin, Gansu, China. Journal of Desert Research, 2019, 39(5): 37-44. (in Chinese)

23 黄麟, 祝萍, 肖桐, 等. 近35年三北防护林体系建设工程的防风固沙效应. 地理科学, 2018, 38(4): 600-609.

Huang L, Zhu P, Xiao T, et al. The sand fixation effects of

three-north shelter forest program in recent 35 years. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(4): 600-609. (in Chinese)

24 朱教君，郑晓. 关于三北防护林体系建设的思考与展望——基于40年建设综合评估结果. 生态学杂志, 2019, 38(5): 1600-1610.

Zhu J J, Zheng X. The prospects of development of the Three-North Afforestation Program (TNAP): On the basis of the results of the 40-year construction general assessment of the TNAP. Chinese Journal of Ecology, 2019, 38(5): 1600-1610. (in Chinese)

25 张丽, 李计生, 李斌. 河西走廊地下水超采区变化及成因分析. 中国水利, 2019, (11): 19-21.

Zhang L, Li J S, Li B. Change and cause analysis on groundwater overexploited areas in Hexi Corridor. China Water Resources, 2019, (11): 19-21. (in Chinese)

26 刘鹄, 赵文智, 李中恺. 地下水依赖型生态系统生态水文研究进展. 地球科学进展, 2018, 33(7): 741-750.

Liu H, Zhao W Z, Li Z K. Ecohydrology of groundwater dependent ecosystems: A review. Advances in Earth Science, 2018, 33(7): 741-750. (in Chinese)

27 Wang S J, Liu H, Yu Y, et al. Evaluation of groundwater sustainability in the arid Hexi Corridor of Northwestern China, using GRACE, GLDAS and measured groundwater data products. Science of the Total Environment, 2020, 705: 135829.

Thoughts and Suggestions on Oasis Ecological Construction and Agricultural Development in Hexi Corridor

ZHAO Wenzhi REN Heng* DU Jun YANG Rong YANG Qiyue LIU Hu

（Linze Inland River Basin Research Station, Chinese Ecosystem Research Network, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China）

Abstract Oasisization is an external manifestation of the temporal and spatial evolution of oasis in arid areas, and the regional water carrying capacity is the key to restricting oasis agriculture and ecological protection in arid areas. The Hexi Corridor is not only an important passage from the east to the west in China, but also an important carrier of regional development; it is not only an important ecological barrier in Northwest China, but also a typical irrigated agricultural area. After more than 60 years of construction, the Hexi Corridor has made remarkable achievements in social progress, traffic conditions, ecological construction and agricultural development, but water resources have increasingly become a restricting factor of the sustainable development in the area. Based on the analysis of the problems existing in the ecological construction and agricultural development of the oasis in the Hexi Corridor, this study proposes that the scale of the oasis should be determined by the amount of water, and 20%–30% of the water resources should be used as ecological water. Under the current water supply conditions, this study suggests allocating water and soil resources rationally, improving the quality of oasis, and controlling the scale of oasis; properly establishing a low-water-consumption desert riparian vegetation zone and a rain-fed sand control system around the desert margin; strengthening the authenticity of desert vegetation and integrity protection, minimizing the disturbance to desert vegetation, thus to protect the safety and stability of the ecological barrier of the Hexi Corridor and the sustainable development of oasis agriculture.

Keywords oasis, water resources, ecological construction, agricultural development, cultivated area, Hexi Corridor

*Corresponding author

赵文智 中国科学院西北生态环境资源研究院研究员、博士生导师。主要研究领域：自然地理学（干旱荒漠区生态过程、水文过程及生态水文相互作用研究）；生态学（内流河流域生态系统水资源优化，荒漠与绿洲生态系统健康、稳定及适应性管理研究）。E-mail: zhaowzh@lzb.ac.cn

ZHAO Wenzhi Professor of Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences (CAS), Doctoral tutor. His research focuses on physical geography (research on ecological processes, hydrological processes and eco-hydrological interactions in arid desert regions); ecology (water resource optimization research of inner river basin ecosystem. health, stability and adaptive management research of desert ecosystems and oasis ecosystem). E-mail: zhaowzh@lzb.ac.cn

任 珩 中国科学院西北生态环境资源研究院副研究员，中国科学院青年创新促进会会员。主要从事恢复生态学、克隆植物生态学等方面的研究。E-mail: renheng@llas.ac.cn

REN Heng Associate Professor of Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences (CAS). Member of Youth Innovation Promotion Association of CAS. His research focuses on restoration ecology and clonal plant ecology.
E-mail: renheng@llas.ac.cn

■责任编辑：岳凌生